

## Lézeres mikromegmunkálás

### MICROPROCESSING WITH LASER

### MICOPRELUCRARE CU LASER

PUSKAS Zsolt<sup>1</sup>, MSc, tudományos munkatárs,  
ANTALFI Zoltán<sup>2</sup>, MSc, fejlesztőmérnök,  
DOBRÁNSZKY János<sup>1</sup>, PhD, tudományos főmunkatárs

<sup>1</sup>MTA–BME Fémtechnológia Kutatócsoport, 1111 Budapest,  
Goldmann tér 3., tel.: +36 1 4631078, fax: +36 1 4633250,  
e-mail: puskas@eik.bme.hu, honlap: www.att.bme.hu/~femtech/index.htm

<sup>2</sup>Minvasive Kft., 2360 Gyál, Gárdonyi Géza u. 65.,  
tel.: +36 70 3369755, fax: +36 70 9016547  
e-mail: info@minvasive.hu, honlap: www.minvasive.hu

### ABSTRACT

This paper shows part of lasertechnologie, which is responsible of manufacturing small and complex metal parts. We use solid-state Nd:YAG laser with 15W average power. It can be set small focal point, short pulslength ( $\mu$ s) and less than 10mJ energy to create structure under 100  $\mu$ m. For different material of course we have to use proper cutting gas.

### ÖSSZEFOGLALÓ

A cikk a lézertechnológia azon területét ismerteti, amely apró és bonyolult alkatrészek mikron pontosságú megmunkálásával foglalkozik. Egy 15W átlagteljesítményű Nd-YAG szilárdtestlézer segítségével bemutatásra kerül, hogyan lehet 100  $\mu$ m alatti struktúrákat létrehozni kis foltátmérővel, rövid ( $\mu$ s hosszúságú) impulzusokkal és 10mJ alatti energiával. A különböző anyagokhoz természetesen a feladatnak megfelelő vágógázt kell használni.

**Kulcsszavak:** lézer, mikromegmunkálás, rozsdamentes acél, műszaki kerámia

### 1. BEVEZETÉS

A lézertechnológia a 21. századra jelentős iparágga fejlődött ki. A nagy, több kW-os berendezések már széleskörben elterjedtek az autóiparban és más területeken. A lézeres mikromegmunkálás néhány évvel ezelőtt még csak laborokban vagy kivételes ipari alkalmazásra használták, de ma már egyre többen fedezik fel maguknak. A lézertechnológiának ez az ága olyan feladatok megoldására alkalmas, amelyet hagyományos gyártási eljárásokkal nem, vagy csak nehezen lehet megoldani.

A bemutatott technológia alkalmazási lehetőségei, a teljesség igénye nélkül: rugók alakemlékező fémből, biokompatibilis anyagokból orvostechikai eszközök, endoszkópok vázai, gáztechnikai fűvókák, mikro szűrők, kisméretű kerámia alkatrészek.

A LASAG KLS 246-FC típusú Nd:YAG lézerforrással működtetett egyedi mikromegmunkáló berendezés működési tartományát és jellemző paramétereinek összefüggéseit szeretnénk bemutatni néhány példa segítségével. Egy új anyag vágásához szükséges értékek megtalálása, mint az később látható lesz, tesztek sorozatából áll. Ehhez próbálunk mi segítséget nyújtani.

A lézerberendezésünk CNC berendezésként működik, amelyet egy saját fejlesztésű számítógépes felületen keresztül vezérlünk, ezen a felületen állítható be az összes paraméter és olvasható be a vágási pályagörbe. A szerszámpályát CAD program .dxf rajzából generálja egy Magyarországon fejlesztett CAM szoftver. Az így elkészült G-kód a későbbiekben is könnyen módosítható.

## 2. AZ ND:YAG LÉZER PARAMÉTEREK ÉS AZOK EGYMÁSRA GYAKOROLT HATÁSAI

A lézersugaras vágás paraméterei anyagminőségtől és anyagvastagságtól függően alapvetően változhatnak. De adott anyagnál és anyagvastagságnál is többféle vágási beállítás közül lehet választani.

1. táblázat: A 15W-os Nd:YAG lézer jellemzői

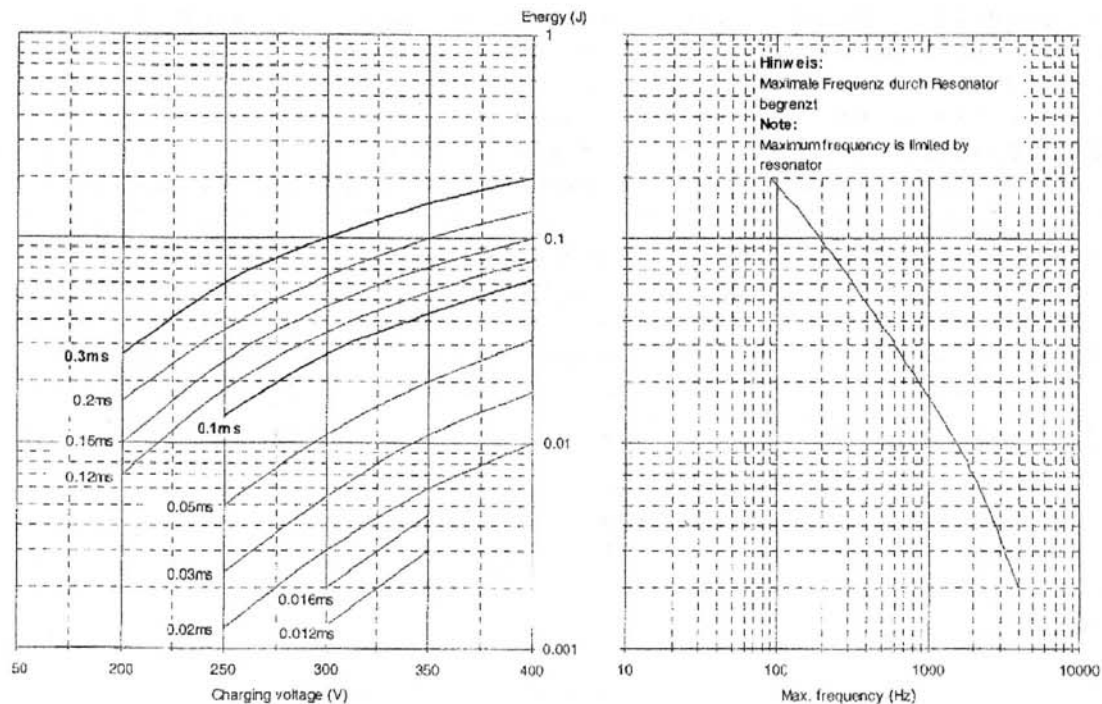
A lézer berendezés főbb paraméterei		Átvágható anyagvastagság különböző anyagoknál	
Impulzus üzemű Nd:Yag lézer		Munkadarab anyaga	Átvágható vastagság [mm]
Hullámhossz	1064 nm	Rozsdamentes acél	1
Impulzushossz	12 - 300 $\mu$ s	Szénacél	1,2
Impulzus-frekvencia	0,1 - 5000 Hz	Speciális ötvözetek	0,8
Impulzus energia	2 - 180 mJ	Cr-Ni ötvözetek	0,8
Átlagteljesítmény	15 W	Titán ötvözetek	0,6
Vágási szélesség	0,02 - 0,05 $\pm$ 0,005 mm	Műszaki kerámiák	1,2

A vágást befolyásoló paraméterek az 1. táblázat jobboldali oszlopán túl a következők:

Feszültség - U (V); Nyalábtágító méret - ny.t (-); Fókusz távolság - fók.táv. (mm); Fúvókatávolság - fúv.táv. (mm); Vágógáz nyomás - P (bar); Vágási sebesség - v (mm/s); Lövések közti távolság - f.d (mm)

Fontos azt figyelembe venni, hogy a fent említett paraméterek egyrésze állítható, másrésze kiadódó érték és legtöbbje nem független egymástól. A következőkben a paraméterek egymásra hatását külön részletezzük.

A feszültség, frekvencia és az impulzushossz paraméterek szoros fizikai összefüggésben vannak egymással. Bármelyik érték változása befolyásolja a lézerfény teljesítményét és energiáját, kisebb vagy nagyobb mértékben. Ez a hármas összetartozó érték, egymáshoz képest is csak bizonyos határok között változtatható. A gerjesztő feszültség választható tartománya az impulzushossz csökkenésével szűkül (1. ábra, bal oldali diagramm). A működési frekvenciatartományt az 1. ábra, jobb oldali diagrammján lévő görbe határozza meg. A felső határ fizikai eredetű, amely szerint az impulzushossz növelésével a frekvenciát csökkenteni kell, mert különben „összeérnének” az impulzusaink. Az alsó határt a gazdaságosság illetve a konkrét feladat szabja meg. Ezért az anyag, az átvágandó vastagság, a vágás geometriája és a kívánt vágási felület ismeretében ezek a határok még szűkülhetnek. A három paraméter együttesen meghatározza, hogy mekkora energiával és mekkora a teljesítménnyel lép ki a lézernyaláb a lézerből.



1. ábra

A működési tartomány és a kívánt energiaérték beállítására a lézerforráshoz mellékelt gyári dokumentációban található diagram

Tipikus mikromegmunkálási tartomány a 10mJ alatti energiaérték, amelyen belül érdemes minél rövidebb impulzusokat alkalmazni a kisebb hőhatászlóna érdekében. A lézerkristályt gerjesztő villanólámpa élettartamát jelentősen növelhető szakszerű használattal. A villanólámpa maximális élettartama 100 millió villanás, amelyet megfelelő kezelés mellett és gondos paraméter-beállításokkal lehet csak elérni.

Az eddig tárgyalt három fő paraméter közül, amennyiben az impulzushossz és a feszültség párosából kiadódik a megfelelő energiaérték az impulzus-frekvencia meghatározását a korábban leírt határokon túl, gazdasági és felületminőségi szempontok is befolyásolják. Ugyanis a lövési-frekvencia, azaz a lövések egymás utáni gyorsasága szoros kapcsolatban van a következő három fizikai paraméterrel: sebesség, vágási idő, lövések távolsága a vágott felületen érdessége. A vágási él kívánt felületminősége ezek közül az első tulajdonság, amelyet be kell állítanunk, amely elsősorban az egységnyi felületre bevitt energiasűrűségtől függ. Amennyiben az anyag átvágásához szükséges energiát már megtaláltuk, akkor már csak a lövések távolságával lehet ezt az értéket változtatni, amely tipikusan 0.025-0.001 érték között szokott lenni finom struktúráknál.

Csak ezután tudunk figyelmet fordítani a megmunkálás gazdaságosságára, a vágási sebesség és a belőle adódó vágási idő optimalizálására. Könnyen belátható, hogy a lehető legnagyobb vágási frekvenciával érhetjük el a legtermelékenyebb vágást.

Viszonylag sok tapasztalatot összegyűjtöttünk már különböző típusú rozsdamentes acélok, kobalt-krom ötvözetek, titánötvözetek [1] és műszaki-kerámiák lézeres mikromegmunkálására az általunk használt lézerforrással. Ezek a vágási paraméterek a legtöbb esetben könnyen adaptálhatóak más kis teljesítményű Nd:YAG lézerek használatakor.

Nagyon fontos megemlíteni, hogy a sebesség mellett a gyorsulásnak is döntő szerepe van. Nagy teljesítményű lézerek esetében az ívek, kanyarok „tisztá” vágásához szükséges az energia visszaszabályozása. Miko méretű alkatrészek kivágásánál nem csak az energiatörölődést kell elkerülni, hanem a pontos pályakövetés is szigorú kritérium, ennek eléréséhez a gyorsulást is külön tudjuk állítani. A lézerforrásunkat Aerotech mikromozgatókkal építettük össze, melynek vezérlését saját magunk hoztuk létre. Így tudtuk megvalósítani, hogy az X-Y tengelyről visszakapott sebességinformációból és a beállított lövési távolságból számolt frekvenciával gerjesztett lézerforrás, lassuláskor kisebb teljesítményt ad le.

A nyalábtágító a fókuszálás előtti nyalábminőséget javítja. A nyalábtágító a lézernyalábot először egy rövid fókusz távolságú lencsével összegyűjti a fókuszpontba, ahol egy alkalmas méretű - néhány mikrométer átmérőjű rekeszen engedi át, mely kiszűri a szabálytalan, zavaró összetevőket, majd a rekesz másik oldalán széttartóan kilépő nyalábot egy jóval nagyobb fókusz távolságú lencsével újra párhuzamosítja. A nyalábtágító csak fix értékeket vehet fel (1-8, egész léptékben), ahol 8 a legnagyobb, 1 pedig a legkisebb nyalábtágítást jelenti. Nagyobb nyaláb esetén fókuszálás után kisebb foltátmérőt kapunk, de csökken a mélységélességünk is. Ezért vékony anyagok vágásához célszerű magas értékre állítani a nyalábtágítót, míg vastagabb anyag átvágásához alacsonyra.

A vágógáz fajtája és a gáz nyomása is befolyásolja a vágás minőségét, ezért nem mindegy, milyen anyagot milyen vágógázzal és mekkora gáznyomással vágunk. Néhány jellemző vágógáz típus: rozsdamentes acél esetében oxigén, titán és ötvözetek esetében argon, a különböző műszaki kerámiák esetében nitrogén, vagy levegő. A kívánt áramlási viszonyokat nem csak a fűvőka kilépő mérete (0,5-1 mm) és a gáz nyomása határozza meg, hanem a fűvőkából kilépő lézersugár és a vágandó minta közti távolság is.

A villanólámpa állapota, elhasználtsága jelentősen befolyásolja a vágás minőségét. Mint azt már leírtuk, egy lámpa 100 millió villanásig működtethető. A lámpa élettartamának előrehaladtával a legtöbb esetben szükséges a feszültség értékének utánállítása. Szükséges vagy nem megfelelő paraméterbeállítások esetén azonban a lámpa teljesítménye 20%-al lecsökkenhet. Ebben az esetben lámpacserére van szükség.

### 3. ROZSDAMENTES ACÉL PRECÍZIÓS MEGMUNKÁLÁSA

Adott vágási feladathoz természetesen több jó megoldás is tartozik. A továbbiakban jellemző értékeket mutatunk be a rozsdamentes acél megmunkálásához.

A teljes beállítási tartományt úgy osztottuk három részre, hogy jellemző anyagvastagságot tudjunk párosítani hozzá. Irányadóként néhány adat:

- Nagypontosságú vágásokhoz: 2000-4000 Hz, 10 mJ vagy kisebb energia, 4-20 mm/s vágási sebesség

- Közepes-energiájú vágásokhoz: 1000-2000 Hz, 10-30 mJ energia, 4-20 mm/s vágási sebesség

- Nagyenergiájú vágások: 100-1000 Hz, 30-120 mJ energia, 0,5-4 mm/s vágási sebesség

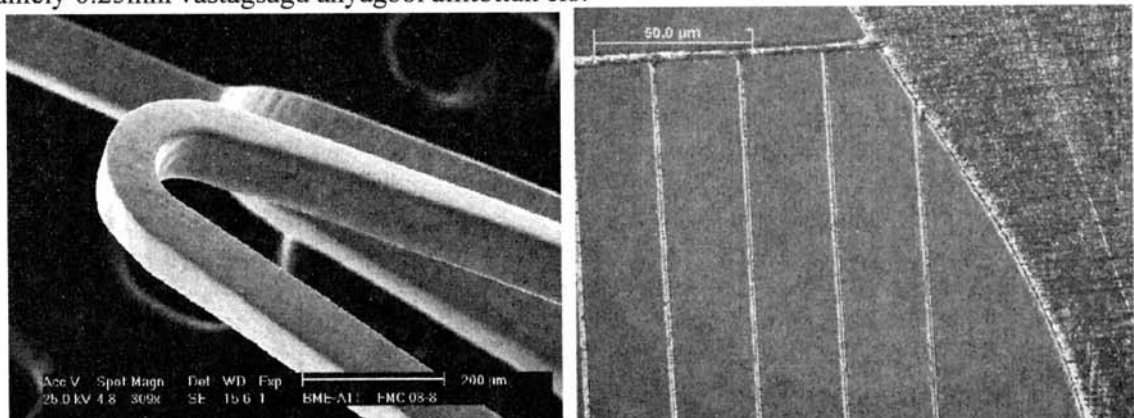
Lézer berendezésünkkel rozsdamentes anyagból 0,05 mm és 1,00 mm közötti vastagságot tudunk vágni. Az előző értékekhez csoportosítva a falvastagságot a következőt kaptuk:

- 0,3 mm anyagvastagságig tudjuk a nagypontosságú vágáshoz tesztelt értékeket használni

- 0,3-0,6 mm anyagvastagságok között közepes-energiájú beállításokat használunk

- 0,6 mm felett a nagyenergiájú beállítások a megfelelőek

Mikromegmunkálásra konkrét példaként látható a 2. ábrán egy szívkoszorúér protézis [2], amely nagy pontosságú vágással készült 0,12 mm vastag anyagból valamint egy mikroszkópi szelettartó rács amely 0,25 mm vastagságú anyagból állítottuk elő.



2. ábra

Szent elektronmikroszkópos képe (bal oldal),  
szelettartó rács mikroszkópi vizsgálatjához (jobb oldal)

Tapasztalataink alapján, az egyes vágási feladatokhoz tartozó beállítások (függetlenül attól, hogy a vágás hengeres, vagy síkvágás) csak kis mértékben térnek el egymástól. Amennyiben új vágási feladatot kell megoldani, kiindulhatunk olyan korábbi beállításokból, amelyek már jó eredményeket datak.

A következő értéktartományok érvényesek mikromegmunkálásra rozsdamentes acélok esetén.

- Fúvókatáv: 0,7-0,75 mm
- Fókusz: 5,6
- Nyalábtágító: 6-8
- Gáznyomás (O<sub>2</sub>): 5-7 bar
- Sebesség: 4-20 mm/s

Ebből a beállításból és a nagy pontosságú vágáshoz szükséges értékekből kiindulva, néhány próbavágásból megállapíthatjuk a megfelelő megmunkálási paramétereket új feladat esetében is. A lézer paraméterek beállításait – ahogy az a 2. fejezetben leírtuk – mindig az anyag összetétele és vastagsága függvényében kalkuláljuk.

### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Thawari G, Sarin Sundar JK, Sundararajan G, Joshi SV: Influence of process parameters during pulsed Nd:YAG laser cutting of nickel-base superalloys. J Mater Process Technol 2005;170(1-2):229-239.
- [2] Ginsztler J, Major L, Puskás Zs, Koós M, Dobránszky J, Giese M, Szabó B, Albrecht K: Development and Manufacturing of Coronary Stents in Hungary. Materials Science Forum 537-538 (2007) 631-638.



# MŰSZAKI SZEMLE

## Különszám, 2009.

Szerkesztőbizottság elnöke /  
President of Editing Committee

Dr. Köllő Gábor

Szerkesztőbizottság tagjai /  
Editing Committee

Dr. Balázs L. György – HU  
Dr. Biró Károly Ágoston – RO  
Dr. Csibi Vencel-József – RO  
Dr. Fedák László – UA  
Dr. Kása Zoltán – RO  
Dr. Kászonyi Gábor – HU  
Dr. Majdik Kornélia – RO  
Dr. Maros Dezső – RO  
Dr. Nagy László – RO  
Dr. Péics Hajnalka – YU  
Dr. Puskás Ferenc – RO  
Dr. Szalay György – SK  
Dr. Turchany Guy – CH

Kiadja / Editor

Erdélyi Magyar Műszaki  
Tudományos Társaság – EMT  
Societatea Maghiară Tehnico-Științifică  
din Transilvania  
Ungarische Technisch-Wissenschaftliche  
Gesellschaft in Siebenbürgen  
Hungarian Technical Scientific Society  
of Transylvania

Felelős kiadó / Managing Editor

Dr. KÖLLŐ Gábor

A szerkesztőség címe / Address

RO-400604 Cluj, Kolozsvár  
B-dul 21. Decembrie 1989. nr. 116.  
Tel./fax: 40-264-590825, 594042  
Levélcím: RO – 400750 Cluj, OP. 1, CP. 140.

Nyomda / Printing

Incitato Kft.

ISSN 1454-0746

CNCSIS által elismert folyóirat  
Revistă acreditată de CNCSIS

[www.emt.ro](http://www.emt.ro)

[emt@emt.ro](mailto:emt@emt.ro)

## OGÉT 2009

### XVII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó



17<sup>th</sup> International Conference on Mechanical Engineering  
Conferința Internațională de Inginerie Mecanică, ed. a XVII-a

#### A konferencia szervezője

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság – EMT,  
Gépészeti Szakosztály

#### Organizer

Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania,  
Mechanical Engineering Department

#### Organizator

Societatea Maghiară Tehnico-Științifică din Transilvania,  
Departamentul de Inginerie Mecanică

#### Társszervezők / Coorganizers / Coorganizatori

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Mechanizmusok,  
Finommechanika és Mechatronika Tanszék  
MTA – Kolozsvári Akadémiai Bizottság  
BME, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar  
Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Győr  
Pannon Egyetem, Veszprém  
Kecskeméti Főiskola  
BMF, Bánki Donát Gépész  
és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest  
Sapientia – Erdélyi Magyar Tudományegyetem  
AGIR – Romániai Mérnökök Egyesülete

A konferencia elnöke / Chairman / Președintele conferinței  
Dr. Csibi Vencel-József

A konferencia tudományos bizottsága / Scientific committee /  
Comitetul științific

Dr. CSIBI Vencel-József  
Dr. ÁBRAHÁM György  
Dr. KAMONDI László  
Dr. MĂTIEȘ Vistrian  
Dr. ARDELEAN Ioan  
Dr. NAGY Vince  
Dr. HORVÁTH Sándor  
Dr. TIMÁR Imre  
Dr. PÁLFFY Károly  
Dr. BEJAN Mircea  
Dr. BARABÁS István

Gyergyószentmiklós, 2009. április 23-26. / Gheorgheni, 23-26 Apr. 2009

Támogató / Financial Support / Cofinanțator  
Szülőföld Alap - Budapest